

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу
Ліщука Сергія Руслановича
на тему «Система планування раціональних ресурсозберігаючих
режимів експлуатації ТЕС»
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 14 Електрична інженерія
за спеціальністю 144 Теплоенергетика

Актуальність теми дисертації.

Енергоблоки теплових електростанцій (ТЕС) мають важливе значення для забезпечення стабільної роботи Об'єднаної енергосистеми України та безперебійної генерації електроенергії. Вони працюють у пікових і напівпікових режимах, покриваючи навантаження в години ранкових і вечірніх максимумів, а в періоди нічного зниження споживання — зменшують свою потужність.

Наукова цінність дослідження полягає у створенні системи оптимізації експлуатаційних режимів окремих енергоблоків задля підвищення економічної доцільності та продовження строку служби обладнання. Запровадження такої системи дозволить генеруючим підприємствам ефективніше планувати режим роботи енергоблоків, а також забезпечить точніше прогнозування й побудову структури генеруючих потужностей в енергосистемі. Це, у свою чергу, сприятиме зменшенню собівартості електроенергії та уповільненню темпів зношення основного обладнання ТЕС.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Розв'язання поставлених у дисертаційній роботі завдань здійснюється шляхом проведення розрахункових досліджень ефективності функціонування енергоблоку за умов змінних режимів експлуатації. Ці дослідження базуються на аналізі енергетичних і матеріальних балансів. Одночасно виконується числове моделювання термонапруженого стану конструктивних елементів парових турбін із застосуванням сучасних методів математичного моделювання, що ґрунтуються на фундаментальних положеннях нестационарної теплопровідності та законах механіки деформованого твердого тіла.

Для досягнення цілей дослідження застосовано поєднання чисельних методів математичної фізики та стандартизованих інженерних методик.

У роботі проведено порівняння отриманих результатів з даними аналогічних досліджень, що демонструє незначні відхилення, підтверджуючи тим самим коректність запропонованої методики. Основні наукові та прикладні

результати роботи вже впроваджені на низці підприємств, що засвідчено відповідними актами впровадження.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Знайшла подальшого розвитку математична модель планування маневрених режимів роботи енергоблоку для зменшення середньорічної витрати палива, завдяки зменшенню пускових втрат енергії та тепла.

2. Уточнено нестационарний термонапружений стан ротора середнього тиску турбіни К-200-130 в частині задання граничних умов, високого ступеня дискретизації розрахункової моделі, детального аналізу градієнтів температур та динаміки зміни інтенсивності напружень.

3. Вдосконалено режимний метод управління ресурсом парових турбін, завдяки раціоналізації режимних параметрів експлуатації, який дозволяє уповільнити темпи накопичення пошкодження під час маневреної експлуатації.

Практичне значення отриманих результатів полягає в такому:

1. Надано рекомендації щодо режиму експлуатації енергоблоку 200 МВт, які дозволяють зменшити середньорічну витрату палива на котельному агрегаті ТП-100 (різниця між найбільш та найменш раціональними режимами роботи – 20 %).

2. Визначено показники експлуатаційного пошкодження ротора середнього тиску турбіни К-200-130 проектної конструкції під час типових експлуатаційних режимів роботи.

3. Розрахунково обґрунтована можливість збільшення індивідуального ресурсу турбіни К-200-130 на 27 % понад парковий ресурс, завдяки раціоналізації її режимів роботи.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі теплової та альтернативної енергетики КПІ ім. Ігоря Сікорського під керівництвом к.т.н., доц. Пешко Віталія Анатолійовича.

Таким чином, у дисертаційній роботі наукове завдання з розробки системи планування раціональних режимів експлуатації енергоблоків ТЕС виконано в повному обсязі. Здобувач продемонстрував глибоке володіння методологією наукових досліджень і здатність до самостійного вирішення складних інженерно-наукових задач.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Ліщука Сергія Руслановича повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 144 Теплоенергетика та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Теплоенергетика».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадиння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Ліщука Сергія Руслановича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота виконана українською мовою, відзначається логічною структурою та послідовним викладом матеріалу. Основний текст представлено технічною мовою з коректним використанням фахової термінології, що відповідає вимогам до наукових праць інженерного спрямування. Зміст роботи добре ілюстрований графічними матеріалами та таблицями, які сприяють кращому розумінню представлених результатів і висновків.

Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку літератури та додатків.

У **вступі** дисертаційної роботи обґрунтовано актуальність обраної теми, чітко сформульовано мету дослідження та основні завдання, визначено наукову новизну й практичну значущість отриманих результатів, а також окреслено особистий внесок здобувача і подано інформацію про апробацію наукових напрацювань.

У **першому розділі** проведено аналіз сучасного стану досліджень у сфері раціоналізації функціонування енергетичного обладнання, зокрема в частині виробництва, передачі та розподілу електроенергії. Зазначено, що нерівномірність добових графіків навантаження та недостатній обсяг генеруючих потужностей ускладнюють процес регулювання ОЕС України, внаслідок чого зростає значення ТЕС, які працюють у маневрових режимах. Це, у свою чергу, призводить до підвищення собівартості електроенергії, інтенсифікації зношування обладнання та скорочення його залишкового ресурсу. Окрему увагу приділено впливу змінних режимів роботи на техніко-економічні показники та довговічність обладнання з урахуванням таких факторів, як циклічні навантаження, повзучість і корозійні процеси.

Другий розділ присвячено дослідженню роботи енергоблоку потужністю 200 МВт з турбіною типу К-200-130, яка є типовим зразком обладнання, що експлуатується в енергосистемі України. Основна увага зосереджена на особливостях пускових режимів турбоагрегату, які класифіковано за температурою металу циліндра високого тиску перед пуском. Детально

проаналізовано енергетичні втрати та витрати палива під час пусків із використанням спеціалізованих методик. Розроблено математичні моделі теплообміну, які враховують як стаціонарні, так і перехідні режими роботи обладнання.

Особливу увагу приділено оцінці ресурсу паротурбінного обладнання. На основі гіпотези Пальмгрена–Майнера здійснено аналіз малоциклової втоми металу ротора, запропоновано методику розрахунку залишкового ресурсу та допустимої кількості пусків. Наведено математичні моделі оцінювання теплового та напружено-деформованого стану ротора середнього тиску, що дозволяє прогнозувати утворення небезпечних дефектів. Встановлено, що часті пуски та зупинки значною мірою прискорюють вичерпання ресурсу обладнання.

У **третьому розділі** показано, що витрати палива при пускових операціях суттєво залежать від початкового теплового стану турбоагрегату. Зокрема, пуски з холодного стану потребують до 90,7 т.у.п., тоді як при гарячих пусках витрати зменшуються до 59,6 т.у.п., що становить економію близько 34%. На основі отриманих даних створено інтегровану математичну модель для оптимізації режимів експлуатації енергоблоку. Враховано три основні параметри: річне напруцювання (5500–6500 год), кількість пусків (20–32 на рік) і оптимальне співвідношення типів пусків (70–80% з холодного стану). Застосування запропонованого підходу забезпечує зниження витрат палива до 20% порівняно з традиційними схемами експлуатації. Додаткову цінність становить механізм кількісної оцінки впливу відхилень від оптимальних параметрів, що дозволяє гнучко адаптувати режими роботи до реальних умов.

У **четвертому розділі** здійснено глибокий аналіз роботи ротора середнього тиску парової турбіни потужністю 200 МВт. Для цього побудовано двовимірну геометричну модель із адаптивною розрахунковою сіткою, що дозволила детально дослідити напружено-деформований стан найбільш навантажених ділянок. Запропоновано математичну модель для керування темпом накопичення пошкоджень шляхом мінімізації впливу нераціональних режимів, що в перспективі дозволяє збільшити загальне напруцювання. Режимними параметрами, як і в попередньому розділі, виступають: річне напруцювання, кількість пусків та їх розподіл між пусками з холодного, гарячого і неостиглого станів. За результатами розрахунків оптимальним виявився режим із річним напруцюванням 6000–6500 год, 20–26 пусками на рік, з яких 74–80% – з холодного стану.

У **загальних висновках** узагальнено основні наукові результати дослідження та надано практичні рекомендації щодо їх впровадження.

У **додатках** наведено перелік публікацій здобувача, а також довідки про впровадження результатів у виробництво.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Наукові результати дисертації висвітлені у 7 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 3 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України.

Також результати дисертації були апробовані на 4 наукових фахових конференціях.

Наукові публікації Ліщука Сергія Руслановича характеризуються високим рівнем змістового наповнення, пройшли належне рецензування та перевірку на оригінальність відповідно до вимог наукових видань. Внесок здобувача у підготовку зазначених публікацій є істотним і відображає його особисту участь у проведенні досліджень та формулюванні наукових результатів. Опубліковані матеріали охоплюють усі ключові положення та висновки, викладені в дисертаційній роботі.

Отже, основні наукові результати, представлені в дисертаційному дослідженні, повністю знайшли відображення в авторських наукових публікаціях.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Нечіткість визначення поняття “залишкового ресурсу”. «Залишковий ресурс елементу встановлює час експлуатації турбіни... до переходу деталі в граничний стан» (с. 47). Не вказано критерії граничного стану – чи це максимальна тріщина, чи критичне пошкодження з-за якості матеріалу? Потрібна деталізація з точки зору механіки руйнування.
2. Обмежена валідність використаного підходу до моделювання. Не наведено верифікації/валідації моделі – чи порівнювали результати із експериментами? Чи підтверджені вони емпіричними даними? Чи враховані всі значущі фактори при моделюванні теплового та напружено-деформованого стану ротора?
3. Необґрунтоване припущення щодо втрат палива при пуску з різних станів (розділ 3.1, с. 70-72). Наведені цифри перевитрати палива (90,7 т.у.п. для ХС, 77,2 т.у.п. для НС, 59,6 т.у.п. для ГС) не супроводжуються аналізом точності розрахунків та похибки. Як варіюються ці втрати залежно від зовнішніх умов (температури навколишнього середовища, якості палива тощо)?
4. Недостатній опис визначення граничних умов. «Визначення граничних умов теплообміну є складною задачею...» (с. 68). Автор лише зазначає

складність, але не вказує, як саме були встановлені ці умови – з експериментів, емпіричних залежностей чи припущень?

5. Недостатнє обґрунтування використання гіпотези Пальмгрена-Майнера. «...відповідності до гіпотези Пальмгрена-Майнера...» (с. 67). Ця гіпотеза має обмеження, наприклад, не враховує порядок навантажень. Чи враховано це при моделюванні?
6. Відсутність аналізу впливу зносу обладнання на розраховані режими експлуатації (розділ 4.3, с. 96-98). Дослідження термонапруженого стану ротора не враховує можливе погіршення його механічних властивостей унаслідок зносу. Чи змінюються оптимальні режими роботи для обладнання з великим напруженням?
7. Нечітке визначення поняття "раціональний режим роботи" (розділи 3.3, 4.5, с. 73-100). Використовується термін "раціональний режим роботи", проте немає чіткої математичної формули або критерію його визначення. Наприклад, чи включає він тільки економію палива, чи також зменшення навантажень на обладнання?
8. Необґрунтоване припущення щодо частки холодних пусків (розділ 3.3, с. 73-78). У моделі припускається, що оптимальна частка пусків із холодного стану становить 70-80%. Чому саме цей діапазон? Чи можливі економічно вигідніші сценарії, наприклад, із більшою часткою гарячих пусків?
9. Недостатньо конкретні рекомендації щодо впровадження (розділ 4.6, с. 104-105). «...запропоновано **конкретні** рекомендації щодо раціоналізації режимів роботи ...». У підрозділі "Рекомендації щодо режимів роботи енергоблоків" наведено загальні принципи, але немає конкретних розрахунків економічного ефекту або технічних вимог до впровадження. Наприклад, які конкретні параметри роботи слід змінити на ТЕС, щоб досягти рекомендованого режиму?

Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Ліщука Сергія Руслановича на тему «Система планування раціональних ресурсозберігаючих режимів експлуатації ТЕС» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 14 Електрична інженерія. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п. 6-9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової

спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Ліщук Сергій Русланович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 144 Теплоенергетика.

Рецензент:

доцент кафедри теплової та
альтернативної енергетики

КПІ ім. Ігоря Сікорського,
кандидат техн. наук, доцент



Підпис гр. Дмитро РИНДЮК

ЗАСВІДЧУЮ

Відділ кадрів

«12»

12 лютого 2025 року